

Präzisions-Wattmeter mit automatischer VSWR - Anzeige für 144 - 2320 MHz

von Dipl.-Phys. Rainer Bertelsmeier ©, DJ9BV, Glücksburger Str. 20, D-2000 Hamburg 50

1. EINLEITUNG

Ein genau anzeigendes Wattmeter gehört mit zu den wichtigsten Meßgeräten des VHF/UHF-Amateurs. Leider stehen kommerzielle Meßgeräte entweder nur zu erheblichen Kosten, oder als Amateurversion in ungenügender Qualität zur Verfügung.

Es wird ein Anzeigegerät beschrieben, das in Verbindung mit käuflichen Präzisions-Richtkopplern folgende Eigenschaften aufweist:

Frequenzbereich: 144 - 2320 MHz	Meßbereich:	0.6 - 2000 W	144 MHz
		0.3 - 1000 W	432 MHz
		0.03 - 100 W	1296 MHz
		0.01 - 40W	2320 MHz

Betriebsarten: * Vorlauf-, Rücklaufleistung * PEP (Spitzenwert)- Messung
 * CW (Mittelwert)- Messung * 3 Meßbereiche: 10, 100, 1000

Automatik SWR-Messung (Direkte Anzeige)
 * SWR-Low: 1.0 - 2.0 * SWR-High: 1.0 - Unendlich

Versorgung: * Akkubetrieb (max. 20 h) * Netzbetrieb NC-Akku wird gepuffert

Richtkoppler: Verwendung beliebiger Richtkoppler, abgesetzt bis zu 20m Anschluß über 5-polige Normbuchse.

2. FUNKTIONSWEISE VON RICHTKOPPLERN

Ein Richtkoppler erlaubt die Auskopplung von auf einer Koaxialleitung fließenden Leistung. Je nach Einbaurichtung wird nur die vorlaufende Leistung, oder nur die rücklaufende Leistung ausgekoppelt. Richtkoppler mit zwei Nebenleitungen unterschiedlicher Richtungsselektion erlauben in Verbindung mit einem HF-Detektor (z.B. Dioden-Gleichrichter) die einfache Messung von Vorlauf- und Rücklaufleistung auf einem Koaxialkabel (Bild 1).

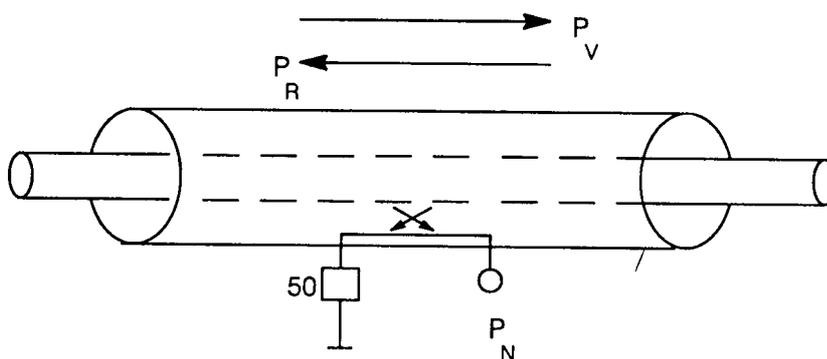


Bild 1

Die bestimmenden Gütekriterien für einen Richtkoppler sind:

- Koppeldämpfung $K = \sqrt{\frac{P_n}{P_v}}$
- Isolation $I = \sqrt{\frac{P_n}{P_r}}$
- Richtwirkung $D = \frac{K}{I}$

Die Richtwirkung bestimmt, wie gut der Richtkoppler vorlaufende und rücklaufende Leistung unterscheiden kann. Sie begrenzt die erreichbare Meßgenauigkeit für die Messung der Vorlaufleistung und die Messung der Rücklaufdämpfung ($RL = \sqrt{P_r / P_v}$), aus dem man das VSWR auf der Koaxialleitung durch einfache Umrechnung ableiten kann. Das Ersatzschaltbild einer Nebenleitung (Bild 2) zeigt, daß sich zwei HF-Spannungen, die zum einen über die Koppeldämpfung von der Rücklaufleistung abgeleitet wird und zum zweiten über die Isolation von der Vorlaufleistung gebildet wird, vektoriell, d.h. nach Betrag und Phase, addieren.

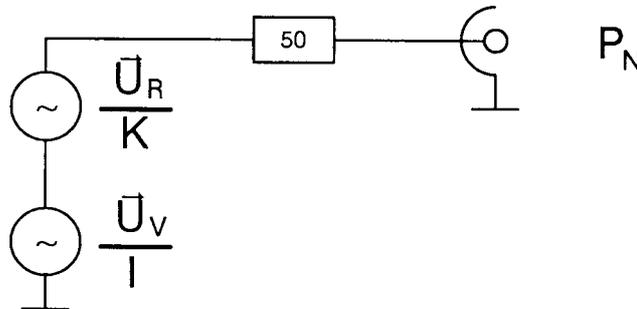


Bild 2

Für die Spannung auf Nebenleitungen gilt:

$$\vec{U}_N = \frac{\vec{U}_V}{I} + \frac{\vec{U}_R}{K} \text{ bzw. } U_N = \frac{1}{K} (U_R + D U_V).$$

Bei endlicher Isolation können sich z.B. die Spannungen verstärken (Phasenlage ist 0 Grad), oder auslöschen (Phasenlage 180 Grad). Bei Messungen der Rücklaufleistung wird also ein variabler Meßfehler, der nur von der relativen Phasenlage von Vorwärts- und Rückwärtsspannung abhängt, das Ergebnis verfälschen.

Diese Tatsache kann man leicht beobachten, indem man einen Richtkoppler auf der zu messenden Koaxialleitung verschiebt. Die Anzeige der Rücklaufleistung ändert sich dann je nach Position auf der Leitung! Der Betrag der Änderung, und damit der Meßfehler ist um so kleiner, je besser der Richtfaktor des verwendeten Richtkopplers ist. Die Meßgrenze ist erreicht, wenn die zu messende Rückflußdämpfung gleich dem Richtfaktor ist. Dann kann die angezeigte Rücklaufspannung zwischen Null und dem doppelten des wahren Wertes schwanken. Die beiden Spannungen:

Formel (1) $\frac{U_v}{I}$ und $\frac{U_r}{K}$ (Bild 2)

sind dann nämlich von gleichem Betrag. Der Richtfaktor bildet also die Meßgrenze für die Messung der Rückflußdämpfung. Das VSWR ergibt sich aus der Rückflußdämpfung:

$$VSWR = \frac{1+RL}{1-RL}$$

mit $RL = \frac{|U_r|}{|U_v|}$

Leider benutzen käufliche SWR-Meßgeräte, die für Amateuranwendungen angeboten werden, relativ schlechte Richtkoppler mit ungenügendem Richtfaktor. Z.B. haben Stripline-Richtkoppler (gedruckte Schaltung), oder offene "Trog-Leitungen" Richtfaktoren von ca. 20 dB. Gute Richtkoppler haben Richtfaktoren von besser 30 dB. Beispiele sind das Wattmeter von BIRD und der Richtkoppler von EME. Insbesondere der Richtkoppler 2320A von EME zeigt einen exzellenten Verlauf des Richtfaktors in einem sehr großen Frequenzbereich von 144 - 2320 MHz (Siehe Bild 3, nächste Seite).

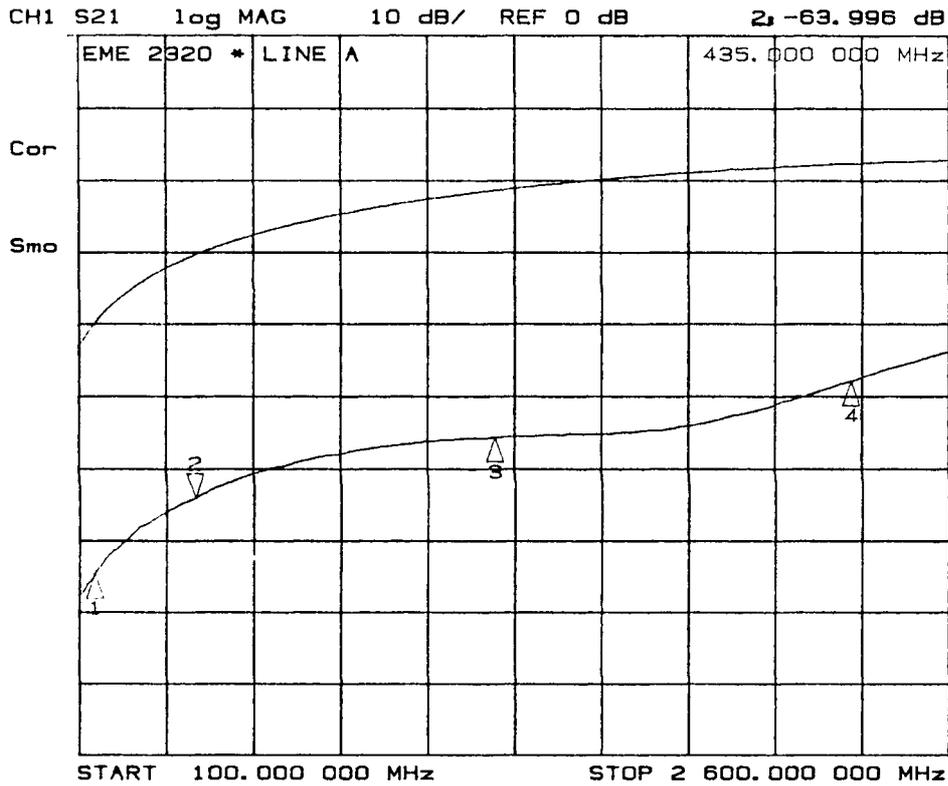


Bild 3

Die in Bild 3 ersichtlichen Werte sind sehr teuren Richtkopplern professionelle Herkunftt ebenbürtig:

Typische Kennwerte Richtkoppler EME2320A		
Frequenz (MHz)	K (dB)	D (dB)
144	-37	35,5
432	-30	33,5
1296	-20	34
2320	-16	30,5

VSWR-Meßfehler @ Richtfaktor							
Wahres VSWR	RL (dB)	Angezeigtes VSWR (Minimum - Maximum)					
		D=33db		D=30dB		D=20db	
1.05	32.26	1.00	1.10	n. meßbar		n. meßbar	
1.10	26.44	1.05	1.15	1.03	1.17	n. meßbar	
1.15	23.13	1.10	1.20	1.08	1.23	n. meßbar	
1.20	20.83	1.15	1.26	1.13	1.28	n. meßbar	
1.25	19.08	1.19	1.31	1.17	1.33	1.02	1.54
1.30	17.69	1.24	1.36	1.22	1.39	1.06	1.60
1.40	15.56	1.34	1.47	1.31	1.49	1.14	1.73
1.50	13.98	1.43	1.57	1.40	1.60	1.22	1.86
1.60	12.74	1.53	1.68	1.50	1.71	1.30	1.99
1.80	10.88	1.71	1.89	1.68	1.93	1.46	2.26
2.00	9.54	1.90	2.10	1.86	2.15	1.61	2.53
2.20	8.52	2.09	2.32	2.05	2.37	1.76	2.81
2.40	7.71	2.28	2.53	2.23	2.59	1.91	3.10
2.60	7.04	2.46	2.75	2.41	2.82	2.05	3.39
2.80	6.49	2.64	2.97	2.58	3.04	2.19	3.69
3.00	6.02	2.83	3.19	2.76	3.27	2.33	4.00
3.50	5.11	3.28	3.74	3.20	3.84	2.67	4.81
4.00	4.44	3.73	4.30	3.63	4.43	3.00	5.67
4.50	3.93	4.18	4.86	4.06	5.02	3.31	6.59
5.00	3.52	4.62	5.43	4.48	5.63	3.62	7.57

Tabelle 1

Die Tabelle 1 zeigt den Einfluß des Richtfaktors D auf den Meßfehler bei der VSWR- Messung in numerischer Form.

Anmerkung: Die dargestellten Werte für den Richtfaktor D können wie folgt charakterisiert werden:

33 dB: Typischer Wert für EME-2320A Richtkoppler.

30 dB: Garantiewert (Minimum) für EME-2320A und BIRD 43.

20 dB: Typischer Wert für "unspezifizierte" Koppler, d.h. deren Richtfaktor überhaupt nicht angegeben ist.

Die Qualität von einfachen Richtkopplern ist, wie man deutlich sieht, selbst für Amateurzwecke völlig unzureichend. Um auch kleine Stehwellenverhältnisse unter 1.2 messen zu können, ist unbedingt ein Präzisionsrichtkoppler mit mindesten 30 dB Richtfaktor notwendig. Bei richtiger Wahl des Richtkopplers erhält man außerdem einen großen Frequenzbereich von 144 - 2320 MHz. Der Typ 2320A von EME erfüllt diese Anforderungen. Das Anzeigegerät ist auch mit anderen Richtkopplern verwendbar. Die Anzeigegrenzen ändern sich dann entsprechend der Koppel-dämpfung auf den Amateurbändern.

3. ANZEIGEGERÄT

Leider ist die Auswahl eines guten Richtkopplers noch nicht ausreichend für die Realisation eines guten Wattmeters. Um die Leistung auf den Nebenleitungen zu messen, werden Meßgleichrichter mit Schottky-Dioden verwendet. Ihr Linearitätsbereich ist ohne besondere Maßnahmen sehr eingeschränkt, wie Bild 4 zeigt.

HF-Kennlinien von Schottky-Dioden

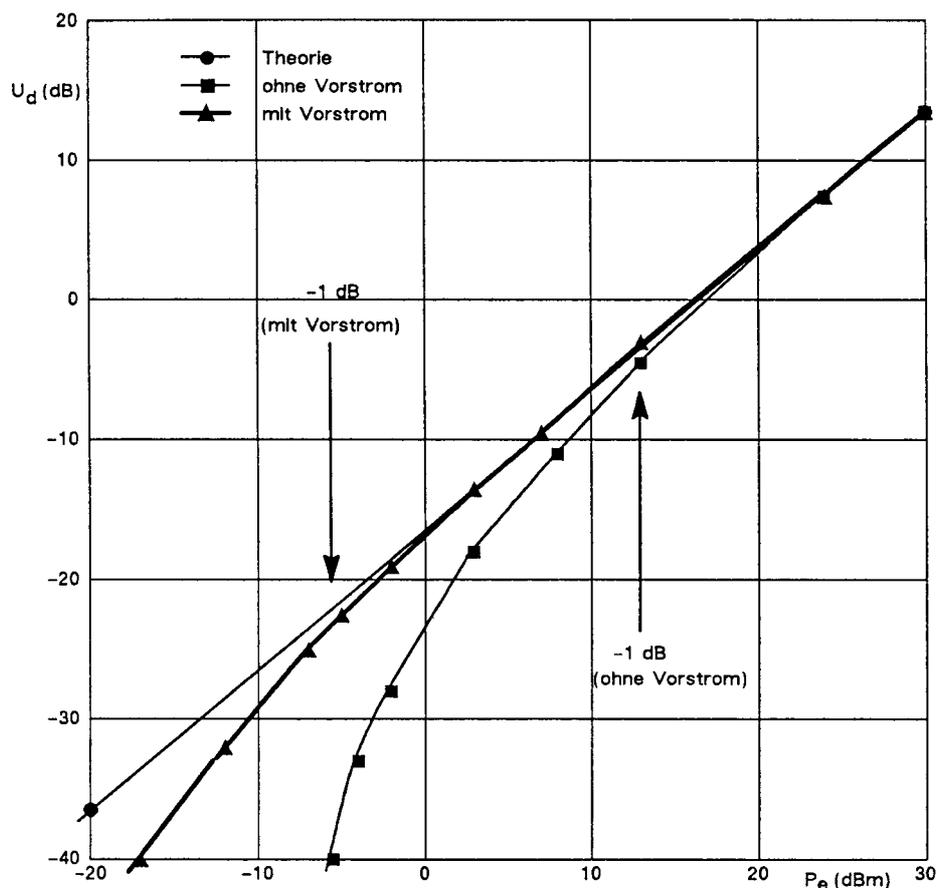


Bild 4

Die Darstellung "Richtspannung U_d gegen Eingangsleistung P_e " ist doppelt logarithmisch. Die theoretische Kurve (U_d ist proportional der Wurzel aus der Eingangsleistung P_e) bildet einen Winkel von 45 Grad. Die Kennlinie einer Schottky-Diode (gestrichelte Kurve) knickt schon bei Eingangsleistungen unter +10 dBm ab. Leistungen von 0 dBm und kleiner ergeben praktisch keine Richtspannung, so daß sie auch nicht gemessen werden können.

Ein Dynamikbereich (Linearitätsabweichung < 1dB) von nur 20dB nutzt aber den Richtfaktor von typ. 33dB, den z.B. der EME2320A aufweist, überhaupt nicht aus. Man kann einerseits die erreichbare Meßgenauigkeit des Kopplers wegen der beschränkten Dynamik der Diodenköpfe nicht ausnutzen und andererseits werden sehr hohe Vorlaufleistungen benötigt, um große Rückflußdämpfungen (entspricht kleinem VSWR) messen zu können.

Z.B. sind für 10 dBm Leistung auf der Rücklaufleitung bei einer Rückflußdämpfung von 20 dB (Entspricht VSWR = 1.22) 30 dBm auf der Vorlaufleitung notwendig. Wegen der variablen Kopfeldämpfung werden je nach Band zwischen 68 dBm auf 144 MHz, 60 dBm auf 432 MHz, 50 dBm auf 1296 MHz und 46 dBm auf 2320 MHz auf der Hauptleitung benötigt. Das wären 6300 Watt auf 144 MHz, 1000 W auf 432 MHz und 100 W auf 1296 MHz!

Einen Ausweg bietet die Verwendung von mehreren Skalen, so daß der nichtlineare Teil der Anzeigekurve bis herunter zu 0 dBm erfaßt wird. Dann wäre um den Preis von 3 Skalen pro Band eine Anzeigedynamik von 30 dB erreichbar. Die o.a. Leistungen für die Messung eines VSWR von 1.22 würden sich dann um den Faktor 10 erniedrigen. Oder bei gleicher Vorlaufleistung könnte man nun ein VSWR von 1.07 entsprechend 30 dB Rückflußdämpfung messen. Die notwendigen Vorlaufleistungen sind aber wohl normalerweise nicht realisierbar, so daß der Bereich des meßbaren VSWR erst bei ca. 1.2 anfängt. Dafür ist aber der gute und teure Koppler zu schade!

Eine bessere Lösung besteht in der Linearisierung der Diodenkennlinie über einen eingepprägten Vorstrom von einigen Mikroampere. Nach Kompensation der temperaturabhängigen Diodenflußspannung ergibt sich eine lineare Kennlinie bis herunter zu Eingangsleistungen von -5 dBm, also eine Anzeigedynamik von 35 dB, da die maximale Eingangsleistung 30 dBm beträgt. Die Kennlinie einer linearisierten Schottky-Diode ist in Bild 4 durch eine Linie mit Meßpunkten dargestellt.

Der hohe Dynamikbereich von 35 dB (gegenüber 20 dB bei einer nichtlinearisierten Diode) ist mehr als ausreichend, um die Richtfaktoren selbst der besten Richtkoppler auszunutzen. Dadurch werden folgende Eigenschaften des Wattmeters möglich:

1. Die Verwendung einer Skala für 3 Meßbereiche (10, 100, 1000) und alle Bänder.
2. VSWR- Messungen bis herunter zur Meßgrenze (VSWR min = 1.045) auch bei kleinen Vorlaufleistungen.
3. VSWR-Messung und Anzeige durch Quotientenbildung von U_r und U_v über Analog-Divider über den vollen Dynamikbereich
4. Großer linearer Anzeigebereich für HF-Leistung
144 MHz: 0,6-2000W, 432 MHz: 0,3-1000W, 1296 MHz 0,03-100W, 2320 MHz 0,01-40W
5. Günstige Minimal-Leistung für genaue SWR-Messung.

Die minimale Vorlaufleistung, die zur genauen Messung des SWR nötig ist, bestimmt sich nach folgender Gleichung:

$$P_{min} = -5 + RL + K(f) \quad \text{Formel (2)}$$

Die Werte werden in dB eingesetzt. K ist die Dämpfung von der Frequenz abhängige Koppeldämpfung in dB, RL bezeichnet die zu messende Rückflußdämpfung in dB.

Bei Vorlaufleistungen, die größer als die Minimalleistung sind, wird das SWR unabhängig von der Vorlaufleistung richtig angezeigt. Unterhalb dieser Minimalleistung wird ein zu gutes SWR angezeigt. Bei 1/10 der Tabellenwerte beträgt der Meßfehler für die Rückflußdämpfung RL -3 dB. Ein wahres SWR von z.B. 1.22 würde dann als 1.152 angezeigt.

Die nachfolgende Tabelle zeigt den Zusammenhang an Zahlenbeispielen:

Minimal-Vorlaufleistung für VSWR-Messung			
Frequenz (MHz)	Minimum-Vorlaufleistung (W)		
	SWR=1,5(RL=14dB)	SWR=1,22(RL=20dB)	SWR=1,1(RL=26dB)
144	50	200	800
432	8	32	126
1296	0,8	3,2	13
2320	0,3	1,2	5

Tabelle 2

4. TECHNISCHE REALISIERUNG

Das Gesamtschaltbild zeigt Bild 5. Die Hauptfunktionen werden im Folgenden erklärt.

4.1 LINEARISIERUNG DER SCHOTTKY-GLEICHRICHTER

Die Schottky-Dioden im HF-Meßgleichrichter werden über eine Stromquelle mit einem Durchflußstrom von ca. 20 μ A versorgt. Deshalb liegt an ihnen eine Durchflußspannung von ca. 0.2 Volt an. Diese Spannung wird temperaturabhängig über einen als Subtrahierer geschalteten Operations-Verstärker kompensiert. Dazu wird die Flußspannung einer Silizium-Diode verwendet, die gleichzeitig als Temperaturfühler dient.

4.2 AUTOMATISCHE SWR-ANZEIGE

Wie Bild 5 zeigt, werden die aus der Linearisierung gewonnenen Spannungen U_v und U_r , die über einen Dynamikbereich von 35 dB die gleiche funktionale Abhängigkeit von der Eingangsleistung P_v und P_r aufweisen, auf einen Analog-Divider (I3) gegeben. Der Ausgang des Dividers ist

damit innerhalb des Dynamikbereiches proportional zum Quotienten $RL = \frac{U_v}{U_r}$ und damit auch

über Formel (1) proportional zum VSWR. Die Skala des Anzeigeelements kann somit direkt in RL (Rückflußdämpfung) geeicht werden. Das gleiche gilt für das VSWR, da nach Formel (1) das VSWR direkt mit der Rückflußdämpfung RL verknüpft ist.

Über eine umschaltbare Gewichtung der Rückwärtsspannung U_r mit dem Faktor 3 (entsprechend 9.5 dB) wird eine VSWR-Lupe realisiert, da dann der Vollausschlag des Anzeigeelements einem VSWR von 2.0 (entsprechend 9.5 dB Rückflußdämpfung) entspricht.

4.3 ANZEIGE DES SPITZENWERTES PEP

Über eine Spitzenwert/Halte-Schaltung (I2) wird aus der Vorlaufspannung oder der Rücklaufspannung der jeweilige Spitzenwert mit einer Anstiegs-Zeitkonstante von 5 msec und einer Halte-Zeitkonstante von 5 sec gebildet. Dadurch wird immer der Spitzenwert der Ausgangsleistung (PEP) angezeigt, solange die Haltezeit der Schaltung größer als die Zeitkonstante der Leistungsänderungen ist. Bei den gewählten Größen ist das für SSB- und Tastmodulation der Fall.

Die Spitzenwert-Anzeige ist besonders wichtig zum Einpegeln von SSB-Sendern (Modulation /Ansteuerung) sowie zum Abstimmen von Hochleistungs-Endverstärkern. Diese können nämlich über Tastung von Morse-Punkten oder Sprache abgestimmt werden.

Die Spitzenwert-Anzeige ist umschaltbar auf Mittelwert-Anzeige (CW), die sonst üblichen Anzeigeverfahren bei konventionellen Wattmetern entspricht.

4.4 MESSBEREICH-UMSCHALTUNG UND EICHUNG

Zwecks Verwendung einer gemeinsamen Skala für alle Bänder und alle drei Leistungsbereiche ist jedes Band einzeln eichbar. Die Leistung, bei der das Anzeigegerät geeicht wird, beträgt auf jedem Band jeweils 25% der maximalen Leistung (z.B. für den Koppler EME2320A auf 2m: 500W, 70cm: 250W, 23cm: 25W, 13cm: 10W).

Wegen des großen Dynamikumfangs der linearisierten Meßgleichrichter kann der Leistungsmeßbereich in 3 Dekaden umgeschaltet werden. Die kleinste meßbare Leistung bei max. 1 dB Abweichung vom wahren Wert beträgt auf allen Bändern 1/3000 der maximalen Leistung, die wiederum nur durch die Belastbarkeit des verwendeten Richkopplers begrenzt wird. Über einen Bereich von 30 dB (entsprechen 1/1000) beträgt die Abweichung weniger als 0.4 dB, d.h. weniger als 9% vom wahren Wert. Professionelle Wattmeter wie z.B. das BIRD 43 sind mit einem Anzeigefehler von maximal 5% des Skalenwertes angegeben. Daraus folgt, daß die Anzeigegenauigkeit dieses Gerätes insbesondere bei kleinen und mittleren Anzeigewerten besser oder mindestens so gut ist, da ja der Fehler nicht auf den Skalenendwert, sondern auf den tatsächlichen Wert bezogen ist.

Die kleinste anzeigbare Leistung (Indikator) beträgt jeweils 1/50000 der maximalen Leistung!

4.5 STROMVERSORGUNG

Die Anzeigeelektronik wird über 6 eingebaute NC-Akkumulatoren (AA-Größe) versorgt. Die Betriebsdauer ohne Nachladen beträgt 20 Stunden. Das eingebaute Ladegerät erlaubt dauernden Pufferbetrieb am Netz, da im eingeschalteten Zustand mit C/50 geladen wird. Spannungsinverter (I4) und Regler (I5, I6) erzeugen +/- 5 Volt. Einflüsse durch Spannungsschwankungen sind somit eliminiert.

5. AUFBAU DES ANZEIGERÄTES

5.1 FRONTPLATTE UND BEDIENUNG

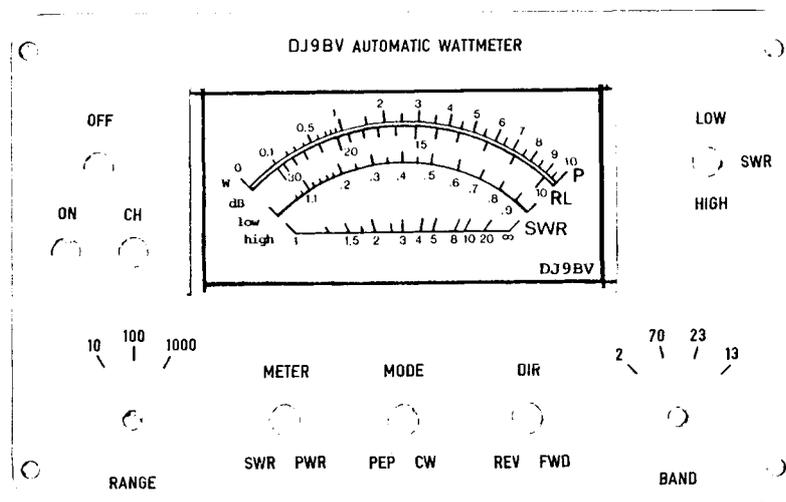


Bild 6

5.5.1 FRONTPLATTE

Die Frontplatte (Bild 6) enthält Schalter für:

Range: 10, 100, 1000

Dir: FWD/REV

OFF: Ein/Aus

Mode: PEP/CW

Band: 2, 70, 23, 13

Function: PWR/SWR

SWR: Low/High

Die Skala des Anzeigeelements hat Einteilungen für:

P: Leistung (0.1-10W), RL: Rückflußdämpfung (10-30 dB), SWR: Stehwellenverhältnis
Die Skala gilt für alle Frequenzen und Meßbereiche. (Low 1.0 - 2.0; High 1.0 - unendlich)

Zwei Kontroll-LED zeigen den Betriebszustand an. Die rote LED "ON" leuchtet, wenn das Gerät eingeschaltet ist. Die gelbe LED "CH" leuchtet, wenn das Gerät mit 220 V Wechselspannung versorgt wird und im Ladezustand ist.

5.1.2. BEDIENUNG

Zur Leistungsmessung wird der Schalter "Function" in Stellung "PWR" gebracht. Mit dem Schalter "Mode" kann die Anzeigeart gewählt werden (PEP = Spitzenwertanzeige oder CW = Mittelwert). Der Schalter "Dir" gestattet die Richtungswahl (FWD = Vorlaufende Leistung oder REV = Rücklaufende Leistung). Der Schalter "Range" erlaubt die Anwahl des Meßbereichs in 10er Stufen. Zum Ablesen des Leistungswertes ist der angezeigte Wert mit dem jeweiligen Faktor für das gewählte Band zu multiplizieren. Die Leistungsfaktoren (Richtkoppler EME2320A) für die Bänder sind:

2m:x2.0 (Max.=2000W), 70cm:x1.0 (Max. =1000W), 23cm:x0.1 (Max. =100W), 13cm:x0.04 (Max.40W)

Bei der Verwendung anderer Richtkoppler ergeben sich eventuell andere Leistungsfaktoren. Z.B. hätte ein Richtkoppler mit durchgehend 30 dB Koppeldämpfung den Leistungsfaktor 1.0. Schaltet man das Gerät in die Funktion SWR, wird auf den unteren beiden Skalen automatisch das VSWR angezeigt, ohne daß eine Eichung notwendig ist. Diese Eigenschaft erlaubt die Messung des VSWR auch in der Betriebsart SSB. Bei einem VSWR kleiner 2 kann der Bereich "Low" gewählt werden. Damit ist eine gespreizte Skala zur Ablesung verfügbar. Dieser Anzeigebereich entspricht auch der Skala Rückflußdämpfung (RL), die einen Wertebereich von 10 dB (= 1:1.92 VSWR) bis 30 dB (= 1:1.07 VSWR) besitzt.

Die Ablesung der Skala Rückflußdämpfung (RL) erlaubt die direkte Bestimmung der vom Verbraucher reflektierten Leistung. Dazu braucht man nur von dB in Absolutwerte umrechnen. Z.B. bedeuten 20 dB Rückflußdämpfung 1% (=1/100) reflektierte Leistung. Die Umrechnung von dB in Prozent geschieht durch "Entlogarithmieren" gemäß folgender Formel:

Formel (3)
$$RUECKFLUSS = \frac{100}{10^{\frac{RL}{10}}}$$

5.2. ELEKTRONIK

Die gesamte Elektronik befindet sich auf einer doppelseitig kaschierten und durchkontaktierten gedruckten Schaltung im Europa-Karten-Format (160x100mm). Nicht auf der gedruckten Schaltung sind der Ein/Aus-Schalter, der SWR-Schalter, die Kontroll LED, das Anzeigeelement, der NC-Akku (6xAA) und die 5-polige Eingangsbuchse. Alle anderen Bauelemente, inklusive Schalter und Netztrafo befinden sich auf der gedruckten Schaltung. Damit sind die notwendigen Verdrahtungsarbeiten auf ein Minimum reduziert, da die gedruckte Schaltung nur noch 17 externe Anschlüsse hat.

6.0 ZUSAMMENBAU UND INBETRIEBNAHME

6.1 ZUSAMMENBAU

Die Platine wird bestückt und gelötet in folgender Reihenfolge: 1. Widerstände und Kondensatoren, 2. Schalter, 3. IC-Sockel. Nach dem Bestücken empfiehlt sich ein Waschvorgang.

6.2. INBETRIEBNAHME

Zum Schluß werden I4, I5 und I6 eingelötet. Mit einer Spannung von +8 Volt an Pin 15 (Regelnetzteil) werden die Spannung -7V an (I3, Pin3), die Spannung -5V an (H2, Pin1) und die Span-

nung +5V an (H2, Pin2) verifiziert. Liegen diese Spannungen korrekt an, können alle weiteren ICs eingesetzt und die gesamte Platine in das Gehäuse eingebaut und verdrahtet werden.

6.3 EICHUNG

6.3.1. FUNKTION DER TRIMM-POTENTIOMETER

Die Potentiometer haben folgende Funktionen: P1= Ausgleich der Koppeldämpfung von Vor- und Rücklaufleitung (Nennwert 4k1), P2= Nullpunkt Rückwärtsdiode, P3= Nullpunkt Vorwärtsdiode, P4= VSWR 100% Eichung, P5= Bandeichung 13cm, P6= Bandeichung 23cm, P7= Bandeichung 70cm, P8= Bandeichung 2m.

6.3.2. EICHPROZEDUR

P1 wird im ausgeschalteten Zustand bei nicht eingesetztem IC I1 mit dem Ohmmeter so eingestellt, daß der Gesamtwert von (P1 + R7) 51k1 beträgt. Nach dem Bestücken von I1, Anschluß der externen Diodenköpfe + Richtkoppler, wird auf dem Sockel H2 der Test-Stecker (MP1) aufgesteckt. Der Schalter "SWR" steht in Stellung "High", der Schalter "Meter" in Stellung "SWR". Nach dem Einschalten wird P4 auf 100% Ausschlag justiert. Nach Ausschalten des Gerätes den Konfigurationsstecker (s. Tabelle 3) entsprechend der Polarität der Dioden-Köpfe auf H2 aufstecken und wieder einschalten. Nach 5 Minuten Nullpunkt einstellen mit P2 und P2. Dazu wird an H2/Pin8 bzw. an H2/Pin9 die Nullspannung (+/- 5mV) gemessen. Die Bandeichung wird immer in Stellung "1000" bei 25% der maximalen Leistung vorgenommen. Damit ist das Gerät betriebsbereit.

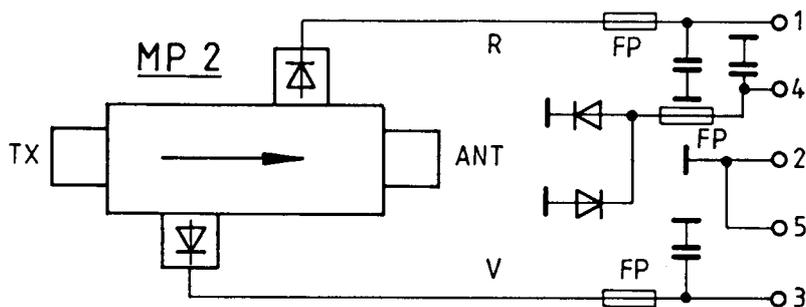
Konfigurationsstecker für H2	
Typ	Brücken
MP1	1-8,8-9
MP2	1-15,2-16,3-4,5-6,7-8,9-10,11-12
MP3	1-16,2-15,3-4,5-8,6-7,9-12,10-11

Tabelle 3

6.4. ANSCHLUSS DES RICHTKOPPLERS

Die Diodenköpfe zur Gleichrichtung der HF-Spannung auf den Nebenleitungen des Richtkopplers haben entweder Anode oder Kathode an Masse. Das wird durch Konfigurationsstecker, die auf 16-poligen Bauelement-Trägern realisiert sind, im Anzeigegerät umgeschaltet. Die Version MP2 dient zur Anpassung von Dioden mit Anode an Masse, die Version MP3 zur Anpassung von Dioden mit Kathode an Masse. Die Anpassung kann nur paarweise geschehen.

Der Richtkoppler wird in ein Aluminium-Druckguß-Gehäuse eingebaut und laut Bild 7 über eine 5-polige, abgeschirmte Leitung verdrahtet. Die Beschaltung der Stecker erfolgt wie in Bild 5. Für abgesetzte Richtkoppler empfiehlt sich die Beschaltung der externen Temperatur-Referenz, die in das Richtkoppler-Gehäuse eingebaut wird. Dazu wird auf den Konfigurationssteckern MP2 bzw. MP3 die Brücke von Pin3 nach Pin4 unterbrochen und stattdessen von Pin3 nach Pin14 gelötet. Damit ist anstatt der internen Referenz D1, D2 die externe Referenz aktiviert. Somit wirken sich Temperaturdifferenzen zwischen Koppler und Anzeigegerät nicht aus.



7. ANHANG: STÜCKLISTE

Halbleiter					
Menge	Typ	Wert	Hersteller	Alternative	Bezeichnung
2	TL084CN		TI	NS,Mot	I1,I2
1	RC4200ANB		Raytheon		I3
1	LTC1044CN8		LT		I4
1	78L05ACP		Mot	TI,NS	I5
1	79L05ACP		Mot	TI,NS	
1	BD136		Si,Valvo		T1
8	1N4148,1N914	TI	alle	D1-D8	
1	B40C800	rund	alle	alle	D9
1	LED gelb	5 mm	alle	alle	D10
1	HLMP4700(LED rot	5 mm	HP		D11
1	Zener 5% 0,4W	10V	alle		D12
Widerstände					
2	MBB0207;1%	39	Beyschlag	alle	R17
1	"	100	"	"	R36,39
1	"	330	"	"	R28
2	"	1k	"	"	R30,R37
1	"	2,7k	"	"	R18
1	"	3,9k	"	"	R35
3	"	4,7k	"	"	R20,21,23
2	"	5,6k	"	"	R16,22
1	"	8,2k	"	"	R34
4	"	10k	"	"	R8,19,32,33,34
9	"	22k	"	"	R1,2,6,10,11,12,13,14,15
1	"	33k	"	"	R27
1	"	39k	"	"	R26
1	"	47k	"	"	R7
1	"	51k	"	"	R3
2	"	82k	"	"	R9,R38
1	"	100k	"	"	R25
2	"	220k	"	"	R4,5,29
1	"	300k	"	"	R24
1	"	1M	"	"	R31
3	Cermet 1 G.	10k	DOC	Weston	P1,2,3
5	Cermet 10 G.	5k	"	Bourns	P4,5,6,7,8
Kondensatoren					
3	EDPU-0,6(2) 100V	100p	Valvo	alle	C15,17,19
14	EDPU-0,6(2) 100V	470p	Valvo	alle	C6,8,10,13,21,27,29,38-42
12	EDPU-0,6(2) 100V	1000p	Valvo	alle	C1-C5,C7,9,11,12,22,28,33
3	EDPU-0,6(2) 63V	0,01u	Valvo	alle	C14,16,18
5	KDPU 50V	0,1u	Valvo	alle	C20,34-37
4	TAG 16V (Tantal)	10u	ITT	alle	C24-26,31
1	TAG 16V (Tantal)	22u	ITT	alle	C23,32
1	EN 12.35 25V(Alu)	100u	ITT	alle	C30

Groß- und Kleinteile					
Menge	Typ	Wert	Hersteller	Alternative	Bezeichnung
1	RuC 100	1 mA	Neuberger	-	H1
1	Rahmen f. RuC100		Neuberger	-	H1 a
1	SBL11 1-3x4		ITT	-	S1
1	SBL11 1-4x3		ITT	-	S4
3	MSTS-101DB	1pol-U	Knitter	-	S3,5,7
1	9080.0101	1pol-U	Marquard	-	S2
1	9080.0201	2pol-U	Marquard	-	S6
2	C93 0802 IC-Sock.	8pol	TI	alle	So1,2
2	C93 1402 IC-Sock.	14pol	TI	alle	So3,4
1	C93 1602 IC-Sock.	16pol	TI	alle	So5
2	71206-050 Buchse	5pol	Hirschm.	-	Bu1,2
1	Stasei 2 Buchse	3pol	Hirschm.	-	Bu3
2	71206-050 Stecker	5pol	Hirschm.	-	St1,2
1	Stak 2 Stecker	3pol	Hirschm.	-	St3
3	A16-P Montage-Pl.	16pol	Assmann	alle	MP1,2,3
1	Geh. 2008-1000H		Zeissler	-	
1	Trageb. 2008-3500		Zeissler	-	
1	Al.-Geh. 1061503	IP65	Rose		
2	Drehk. 499.40		Mentor		
6	NC-Akkus AA	500mAh	Varta	National	
1	Akku-Halter.	6x		alle	
1	Trafo VR1109	9V	Block	alle	
5	Drossel 02036690	1,5Wdg	Valvo		
2 m	Kabel LiY(C)Y	5x0,14	Kluxen	alle	
1	Platine doppels.	Europa	DJ9BV	DK3LL	

8. BEZUGSHINWEISE

Platine+Bestückungsplan sowie komplette Teile-Sätze können beim Verfasser bezogen werden.

